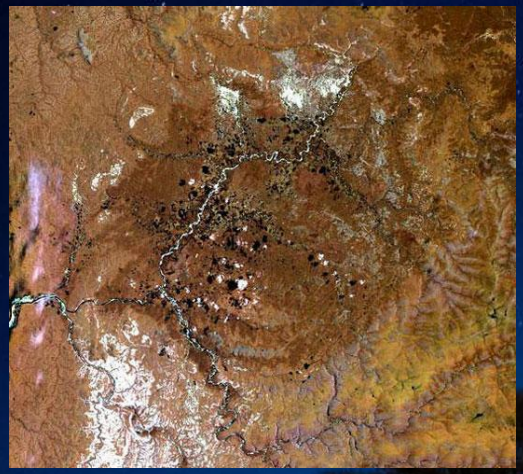
Астероидно-кометная опасность

Н.Б. Железнов
ИПА РАН

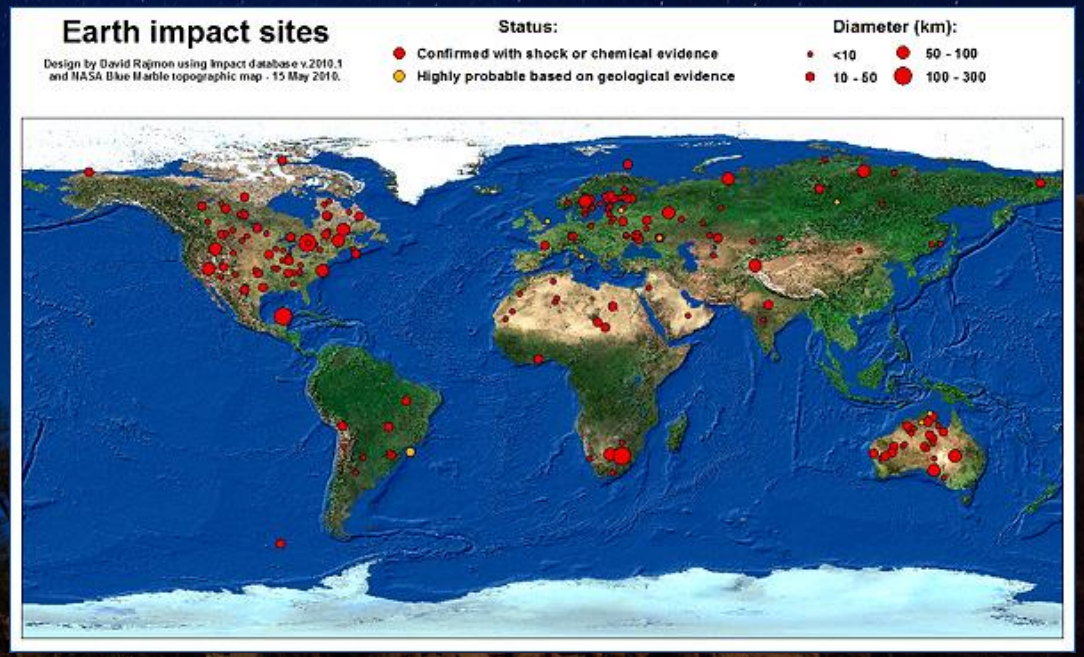
Кратеры на Земле

Аризонский метеоритный кратер Бэрринджер

Кратер Чиксулуб



Кратер Попигай

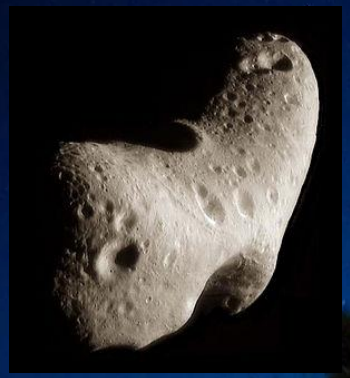


- > 200 подтвержденных кратеров
- > 1000 предполагаемых кратеров

http://impacts.rajmon.cz

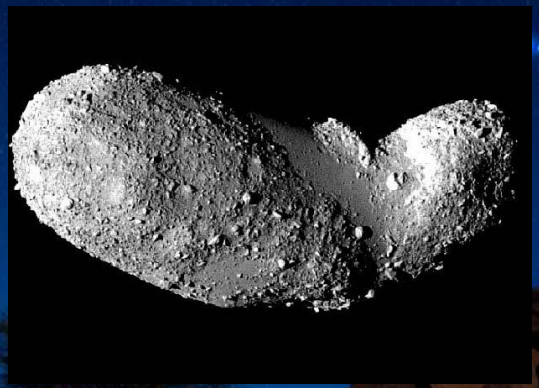
Астероиды, сближающиеся с Землей

- Астероиды с перигельными расстояниями, меньшими или равными 1.3 а.е., принято называть астероидами, сближающимися с Землей (АСЗ)
- Исторически первым из астероидов с такой орбитой был открыт (433) Eros (1898 г.)
- В 1932 г. был открыта первая малая планета (1862) Apollo, орбита которой заходит внутрь орбиты Земли
- Самый крупный открытый АСЗ – (1036) Ganimed (41 км)
- Самый мелкий открытый АСЗ – много (несколько метров)
- Первое упоминание термина АСЗ и классификацию можно найти в статье: E.M. Shoemaker, J.G. Williams, E.F.Helin, and R.F. Wolfe. Earth-crossing asteroids: orbital classes, collision rates with Earth, and origin. pp. 253-282. *In Asteroids, edited by T. Gehrels.* 1979.



АСЗ (433) Eros

https://en.wikipedia.org/wiki/NEAR_Shoemaker

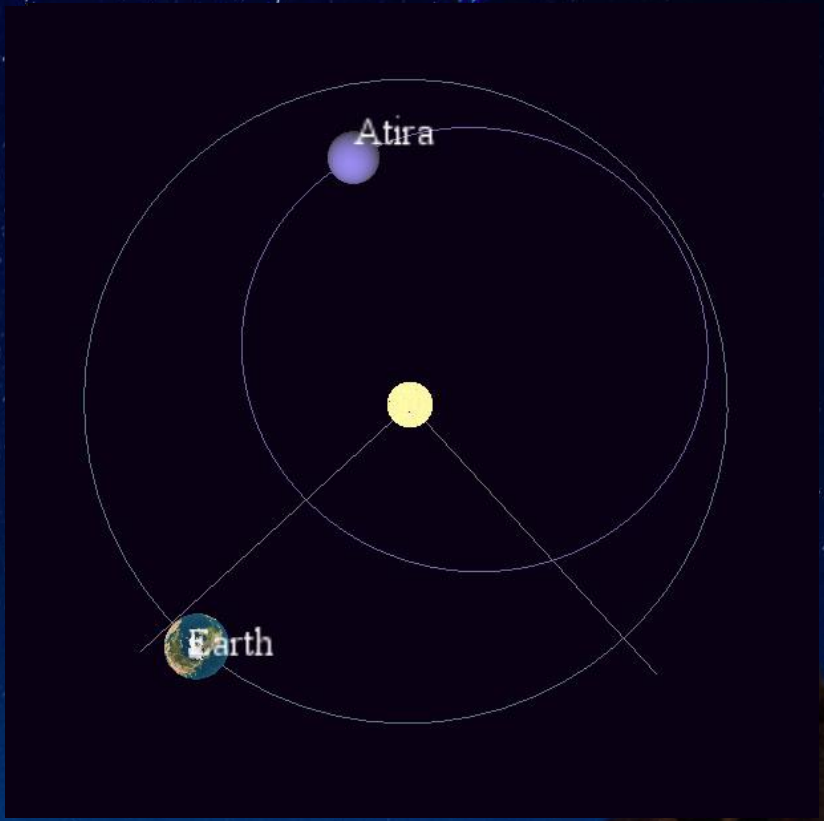


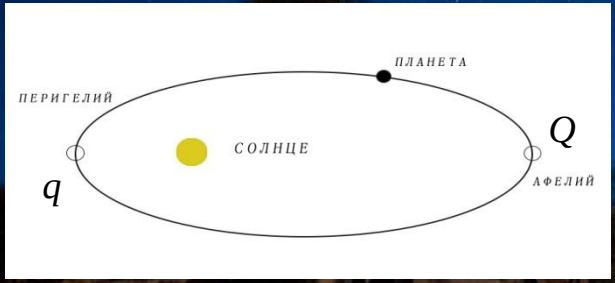
АСЗ (25143) Itokava

http://www.space.com/16105-asteroid-belt.html

Классификация орбит АСЗ

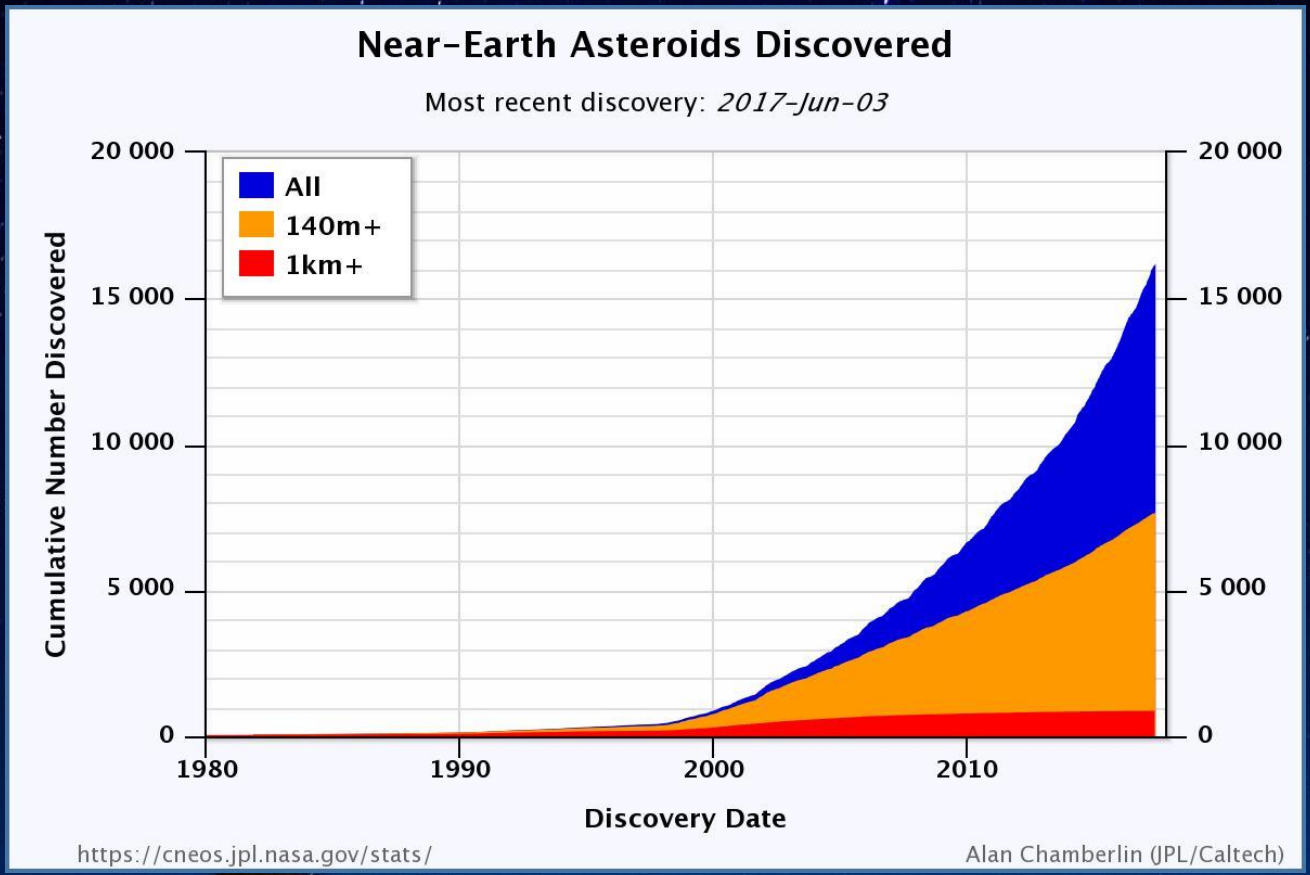
Тип (русск./англ.) Сокращенное название	Область движения
Атонцы (Atens) At	$a < 1.0$ а.е. $Q >= 0.983$ а.е.
Аполлонцы (Apollos) Ap	$a > 1.0$ а.е. $q <= 1.017$ а.е.
Амурцы (Amors) Am	$a > 1.0$ а.е. $1.017 < q <= 1.3$ а.е.
Атирцы (Atiras) Ar	$a < 1.0$ а.е. $Q < 0.983$ а.е.
Потенциально опасные астероиды (Potentially Hazardous Asteroids – PHAs)	$MOID <= 0.05$ а.е. $H <= 22.0^m$





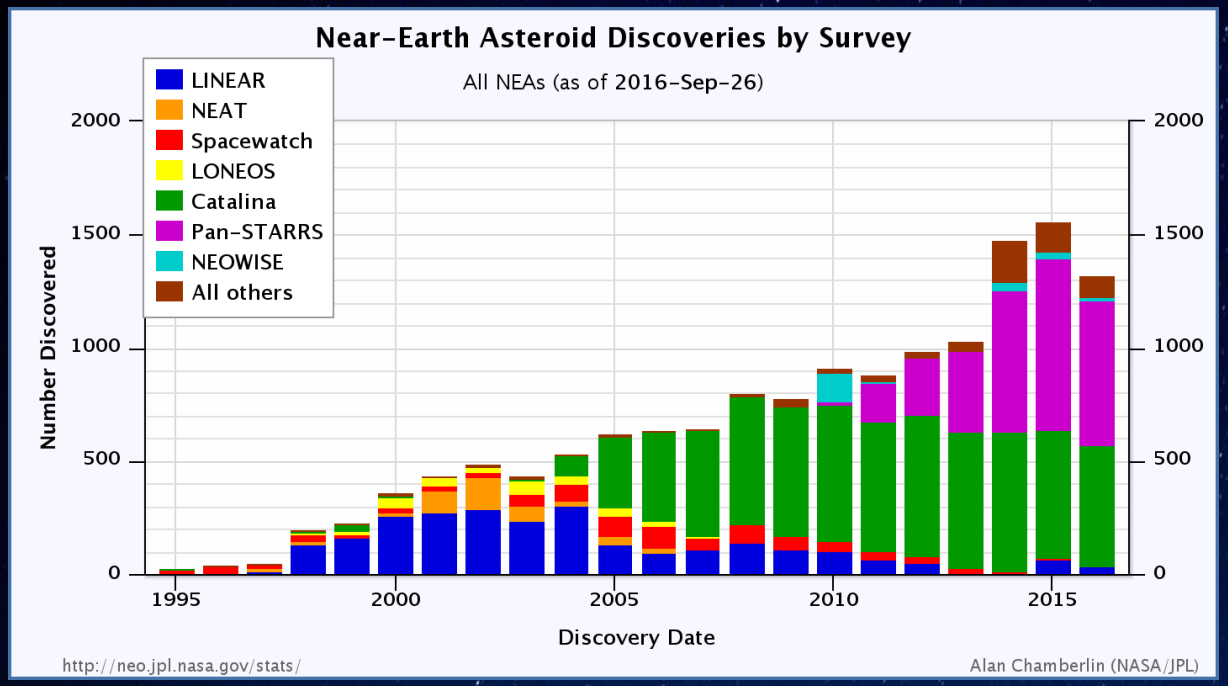
http://spacegid.com/davayte-pogovorim-o-orbitah-planet.html

Сколько всего АСЗ?



дата	КСЗ	Атира	Атон	Аполлон	Амур	ПОА > 1 км	ПОА	АСЗ > 1 км	АСЗ > 140 м	АСЗ
03.06.2017	106	16	1191	8873	6144	158	1806	875	7663	16294

Программы автоматического мониторинга неба



http://www.ll.mit.edu/mission/space/linear/ETS.html

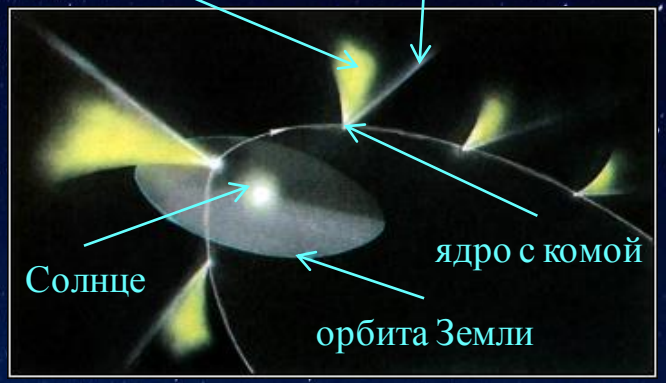
http://www.lpl.arizona.edu/css/index.html

https://www.ifa.hawaii.edu/research/Pan-STARRS.shtml

Кометы

- Коме́та (от др.-греч. κομήτης, komḗtēs — волосатый, косматый) — небольшое небесное тело, обращающееся вокруг Солнца обычно по вытянутым орбитам. При приближении к Солнцу комета образует кому и хвост из газа и пыли.
- Короткопериодические кометы, или кометы типа Галлея обращаются вокруг Солнца с периодом $P > 200$ лет. В настоящее время нумерованных комет – 232.
- Самый короткий орбитальный период у кометы Энке — от орбиты Меркурия до Юпитера она движется за 3.3 года.
- Самая далекая из тех, что наблюдались как минимум дважды, — комета, открытая в 1788 г. Каролиной Гершель и вернувшаяся через 154 года с расстояния 57 а.е.
- Кометы, сближающиеся с Землей (КСЗ): $P < 200$ лет и $q < 1.3$ а.е.
- Долгопериодические кометы приходят из Облако О́орта — гипотетической сферической области Солнечной системы (от 50000 до 100000 а.е.). Орбитальный период таких комет – тысячи и даже десятки тысяч лет.

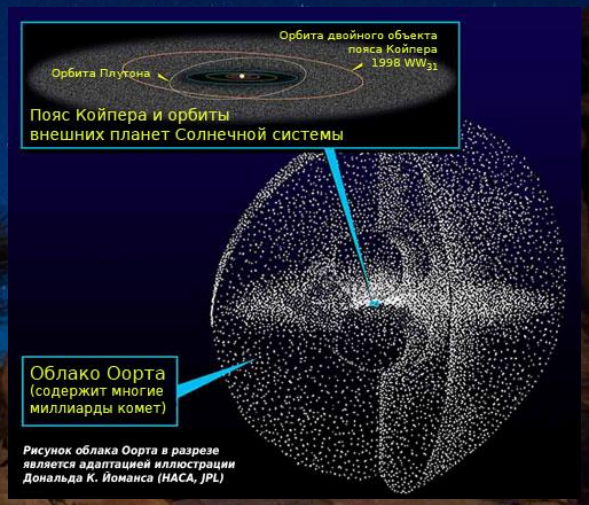
taynip lanet.ru



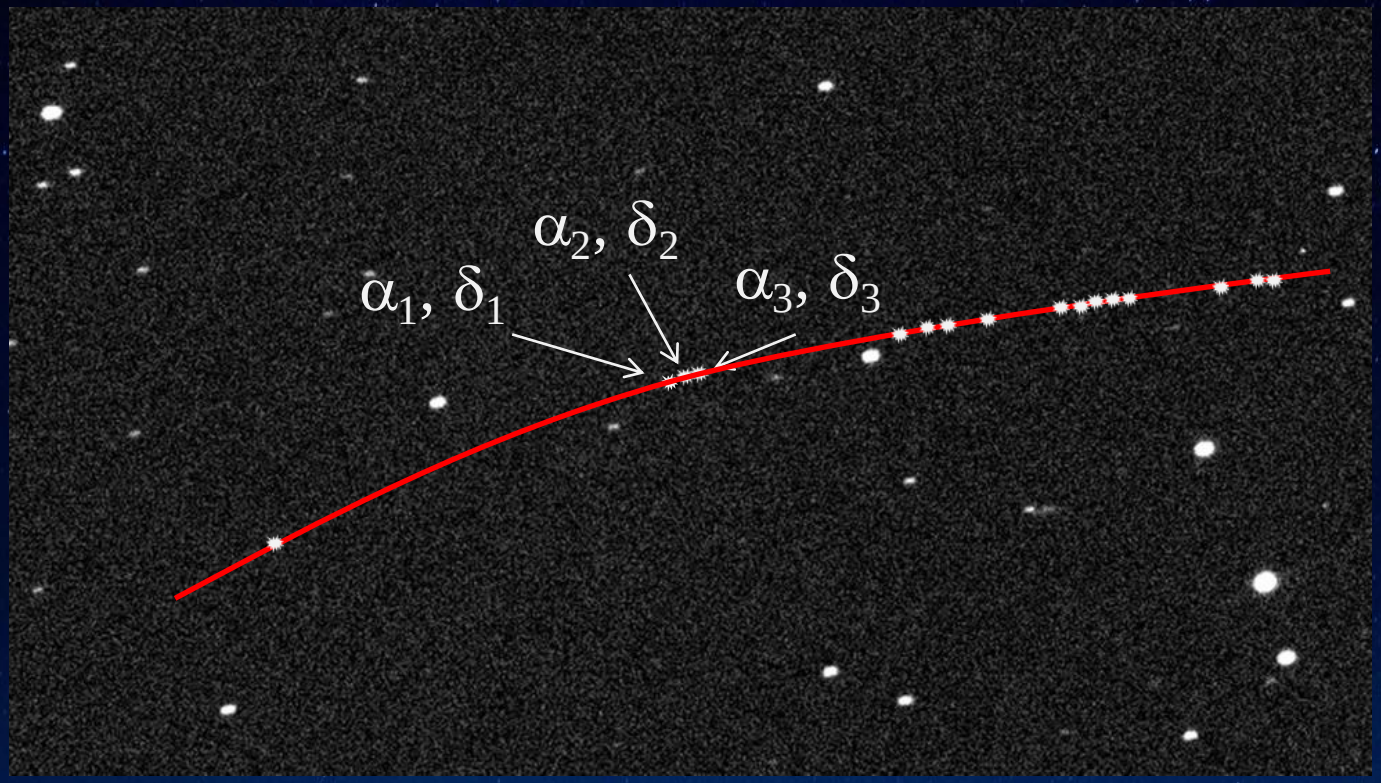
http://skystars.pp.ru/cometsmove.html

Кометы более опасны для Земли, чем астероиды!

- Орбиту кометы вычислить сложнее, чем орбиту астероида. Необходимо учитывать негравитационные эффекты, связанные с реактивной струей хвоста.
- Кометы в процессе пыления теряют массу, могут распадаться.
- Скорость движения по орбите в районе перигелия в среднем больше, чем у астероидов.
- Могут появиться «неоткуда» (из облака Оорта), и направиться прямиком к Земле.
- Если астероиды движутся вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля, то кометы могут двигаться и навстречу нашей планете. Максимальная при этом относительная скорость кометы может достигнуть 70 км/с.



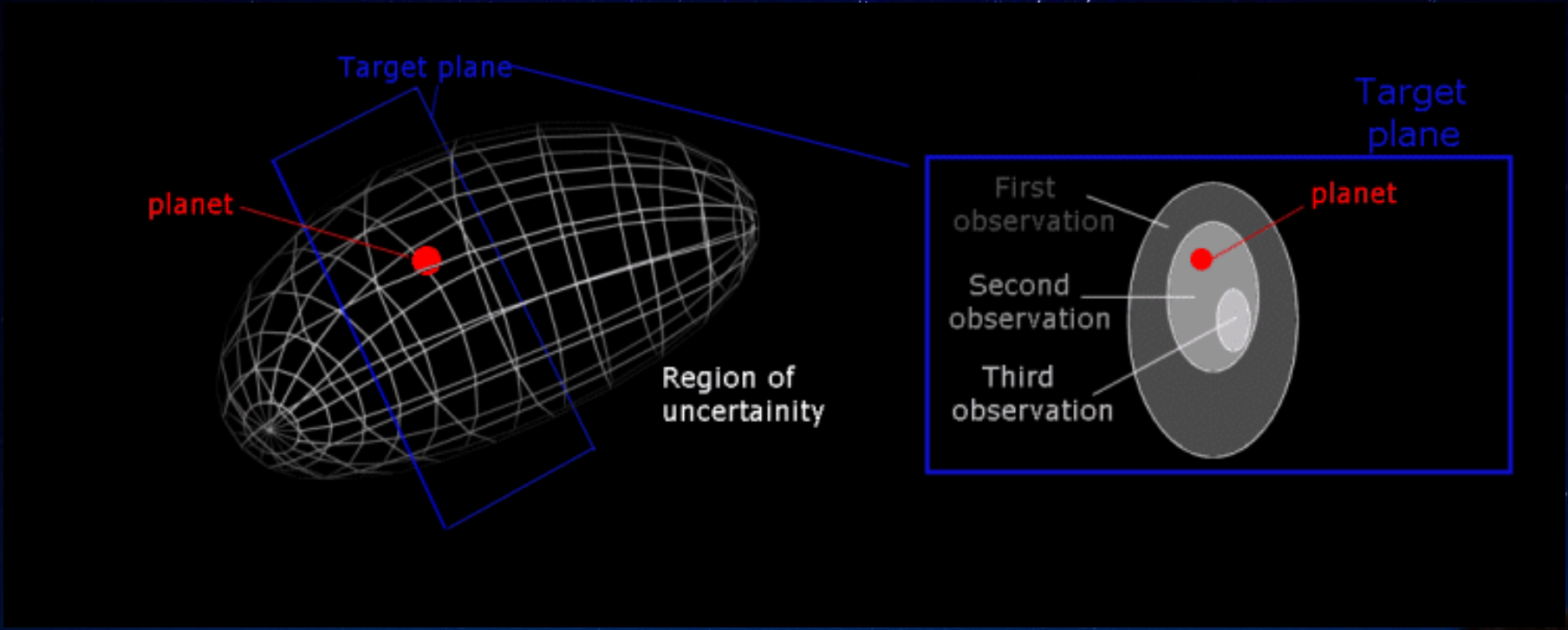
Определение и улучшение орбиты астероида



$$\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2, \alpha_3, \delta_3 \quad \rightarrow \quad a_i = \Delta, e_i = 2, \omega = 1, M_0 = 6)$$

Анимационное изображение астероида 2016 RB1 во время его сближение с Землей вечером 6 сентября 2016 г.
Наблюдатель: Джанлука Мази, виртуальный телескоп в Чеккано, Италия.
http://www.nasa.gov/feature/jpl/small-asteroid-flew-safely-past-earth-today

Область неопределенности



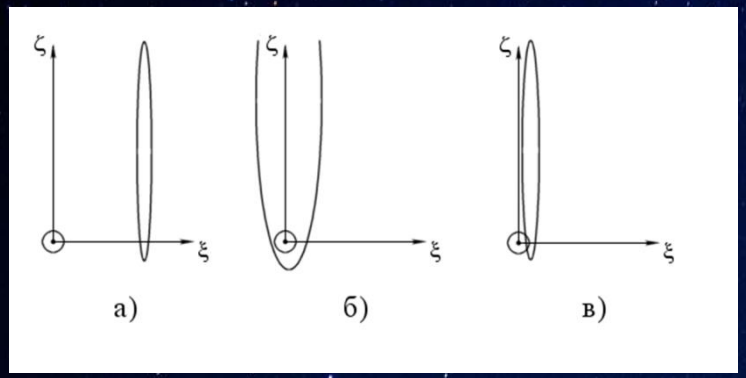
Область неопределенности, или эллипсоид ошибок – область расположения вероятных орбит. Фактическая орбита тела, которая нам неизвестна, находится где-то внутри области неопределенности.

При улучшении орбиты, когда появляются новые наблюдения, область неопределенности уменьшается в размерах. Это может привести к тому, что если изначально в области находилась планета, то при уменьшении области, планета может оказаться снаружи. Это будет означать отмену угрозы столкновения объекта с Землей.

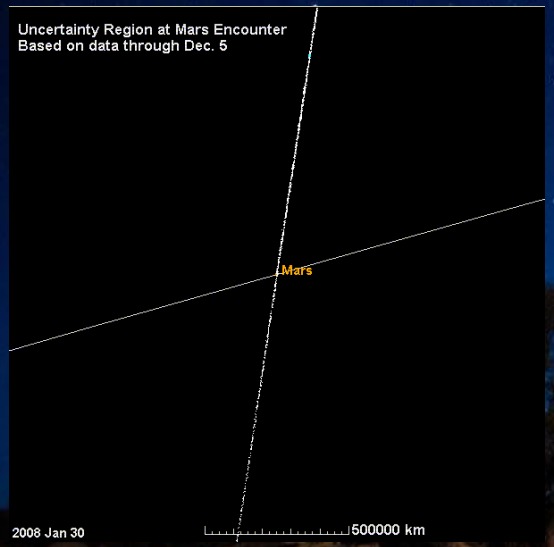
Вероятность столкновения

Линейная задача

- Аналитические методы



- Метод Монте-Карло

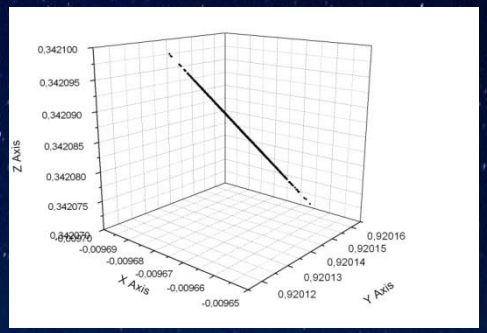


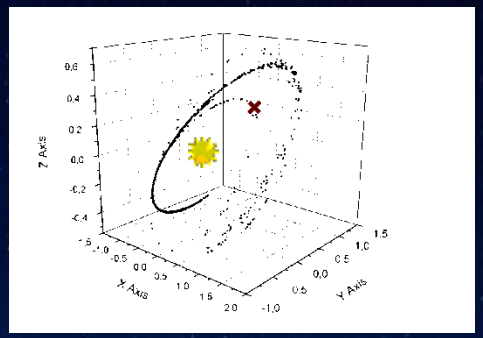
http://neo.jpl.nasa.gov/2007wd5/2007wd5d.gif

Нелинейная задача

- Метод Монте-Карло

17 декабря 2004 г. (99942) Apophis 31 мая 2031 г.



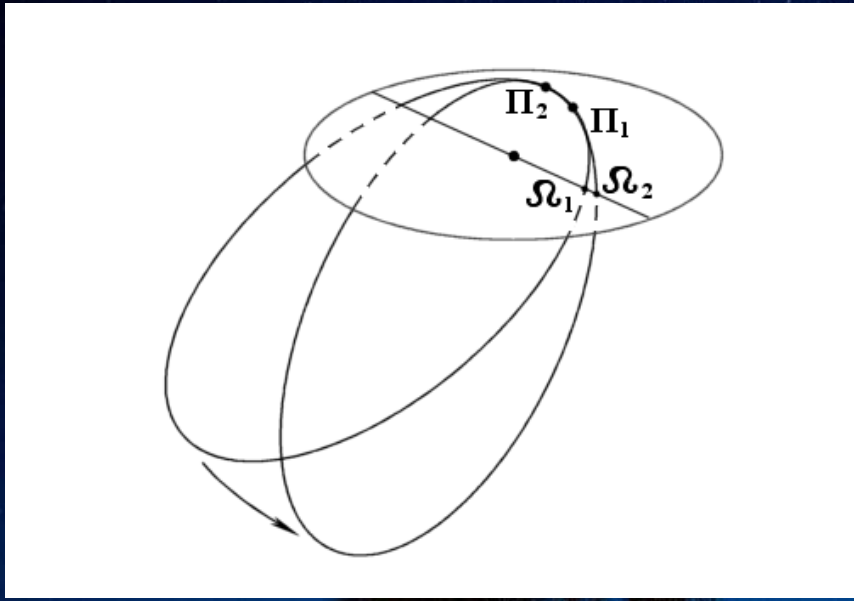


- Метод линии вариации и схожие с ним методы

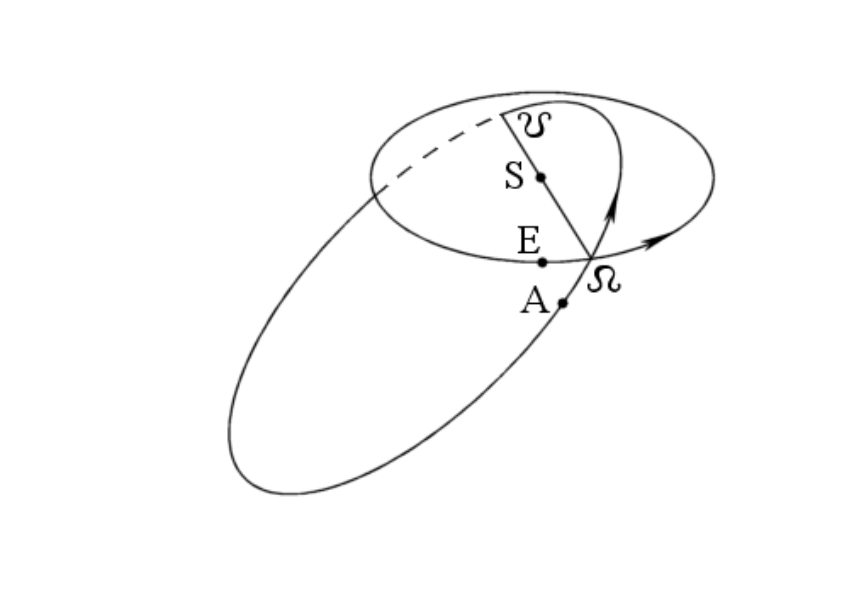
В настоящее время идеального, быстрого и точного метода вычисления вероятности столкновения астероида с планетой не существует!

Схема столкновения астероида с Землей

Изменение положения орбиты тела по отношению к орбите Земли в результате движения перигелия



Расположение узлов орбиты астероида на плоскости орбиты Земли



Движение астероида относительно Земли в пределах ее сферы действия

- Связь прицельного расстояния *b* и минимального расстояния *q*:

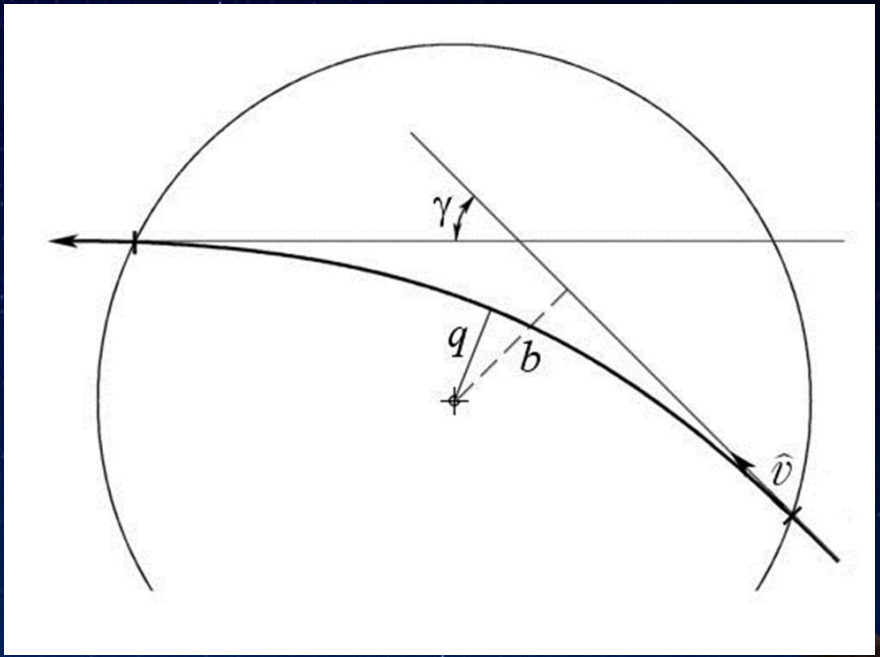
$$b^2 = q^2\left(1 + \frac{v_\infty^2}{\hat{v}^2}\right),$$

- Параболическая скорость относительно Земли:

$$v_\infty = \sqrt{\frac{2GM_\oplus}{r_\oplus}}$$

- Скорость соударения тела с Землей

$$\tilde{v} = \sqrt{(\hat{v}^2 + v_\infty{}^2)},$$



Если *q* равен радиусу Земли, то *b* называется радиус захвата

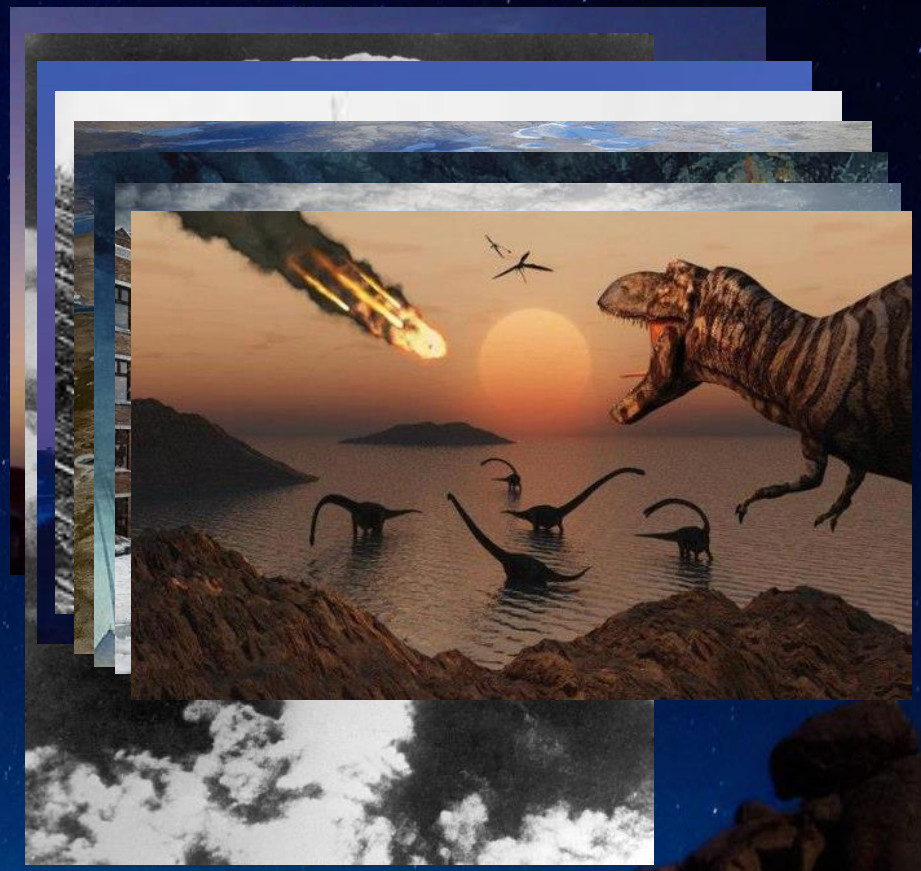
- Кинетическая энергия (1Мт = $4.2 \cdot 10^{22}$ эрг = $4.2 \cdot 10^{15}$ Дж)

$$E = \frac{m\tilde{v}^2}{2},$$

$$m = \frac{\pi}{6} 1329^3 10^{-3H/5} p_V{}^{-3/2} \rho$$

Выделение энергии при различных катастрофах

Событие	Диаметр (км)	Энергия (Мт)	Частота падений в год
-	0.0044	0.01	1
Хиросима		0.015	
-	0.021	1.	$10^{-1} – 10^{-2}$
Тунгуска	0.060	$1.2 \cdot 10^{1}$	10^{-3}
-	0.210	$1.0 \cdot 10^{3}$	10^{-4}
Тамбора		$1.0 \cdot 10^{4}$	
Глобальная катастрофа	1.5	$2.4 \cdot 10^{5}$	$10^{-6} – 10^{-7}$
К/Т катастрофа	10	$1. \cdot 10^{8}$	10^{-8}



Туринская шкала

Палермская техническая шкала

R – «нормализованный риск», вероятность столкновения тела с Землей, взвешенная по отношению к вероятности столкновения с Землей тел такой же самой или большей энергии за время, оставшееся до предполагаемого столкновения

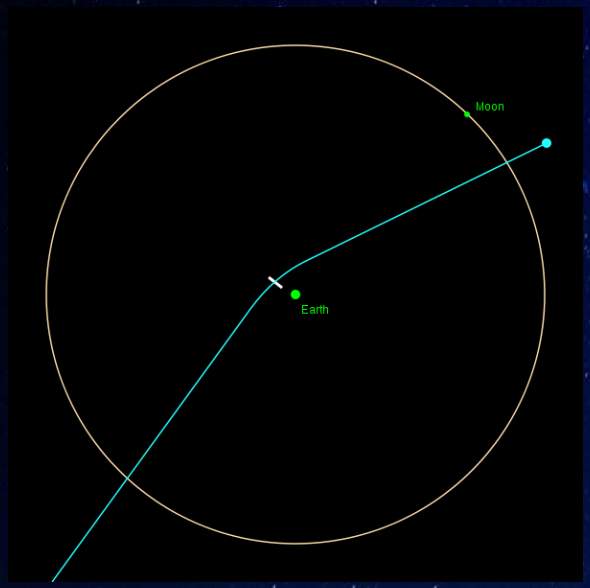
$$R = \frac{P_I}{f_B \Delta T} = \frac{P_I}{0.03 E^{-4/5} \Delta T},$$

где f_B – частота падения на Землю тел с энергией $\geq E$,
ΔT – время до столкновения в годах, P_I – вероятность события

Десятичный логарифм этой величины P определяет Палермскую техническую шкалу для оценки угрозы столкновения тел с Землей

$$P = \lg R.$$

АСЗ (99942) Apophis



https://en.wikipedia.org/wiki/99942_Apophis

http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/asteroid-apophis-takes-a-pass-in-2036/

13 апреля 2029 г. пролетит на поверхностью Земли на расстоянии около 32000 км. Его 3-я звездная величина позволит увидеть его невооруженным глазом. После пролета его орбита сильно изменится, и он каждые 7 лет будет возвращаться к Земле, однако большой угрозы по расчетам в будущем он не несет. Однако требует пристального исследования. Размером он примерно 325 м, и в случае падения на Землю образует 7-км кратер.

АСЗ (101955) Bennu

Из группы Аполлонов. Вероятность столкновения с Землей между 2169 и 2199 составляет 1/4000. При падении на Землю его скорость составит около 13 км/с. НАСА считает его самым опасным астероидом на сегодняшний день. Его размеры – примерно 560 м.

Челябинский метеороид

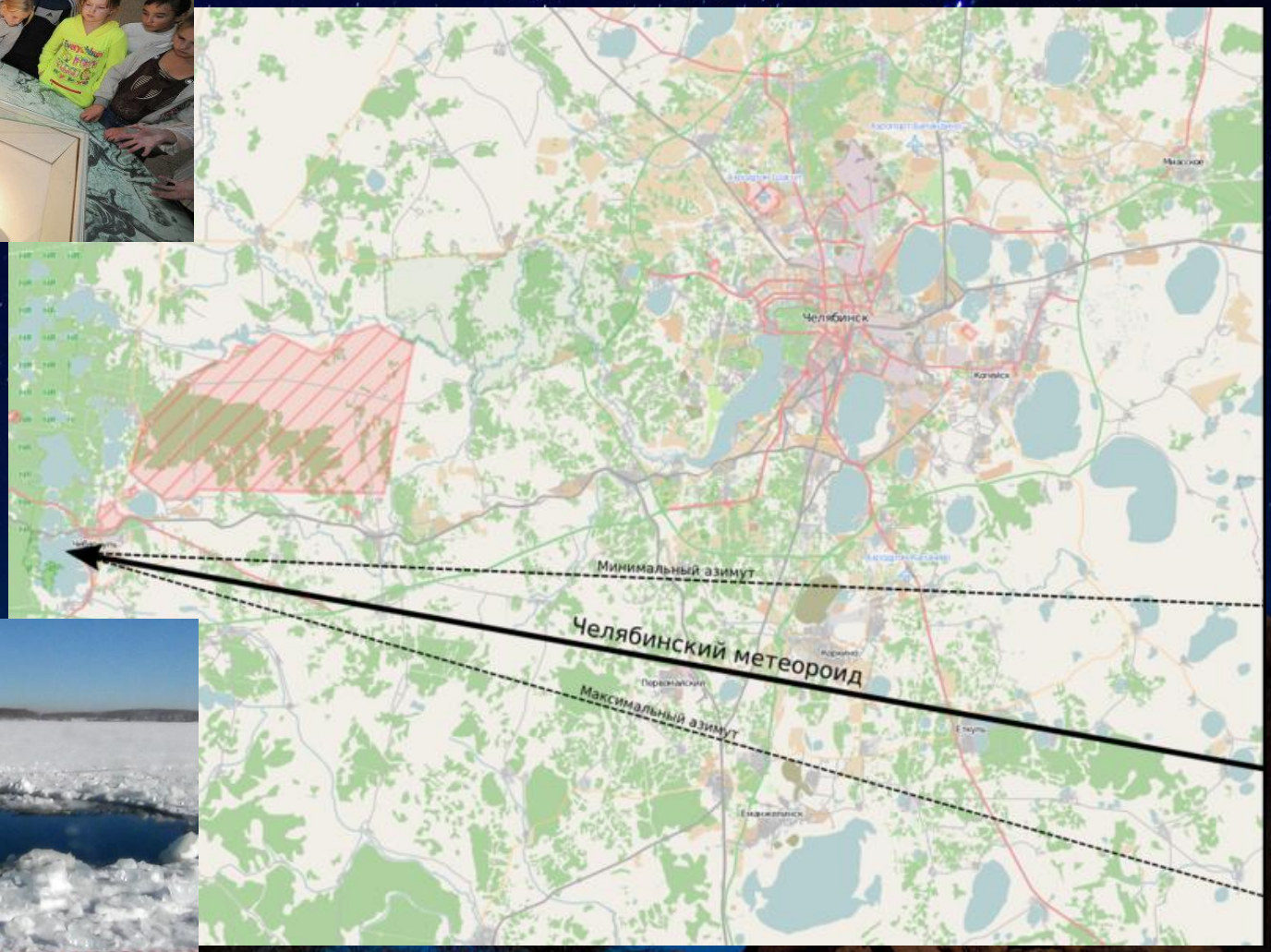
Взрыв метеорного тела в атмосфере в районе Челябинска — явление, произошедшее утром, 15 февраля 2013 года, примерно в 9:20 по местному времени. Метеорное тело взорвалось в окрестностях Челябинска на высоте 15-25 км. По числу пострадавших (1613 человек) падение этого метеороида не имеет аналогов в мировой документированной истории.

По расчетам НАСА, метеороид, диаметром около 17 метров и массой порядка 10 тыс. тонн, вошел в атмосферу Земли на скорости около 18 км/с. Судя по продолжительности атмосферного полета, вход произошел под очень острым углом. Спустя примерно 32,5 сек после входа в атмосферу небесное тело разрушилось Разрушение представляло собой серию событий, сопровождавшихся распространением ударных волн. Общее количество высвободившейся энергии по оценкам НАСА составило около 500 килотонн в тротиловом эквиваленте, по оценкам РАН — 100-200 килотонн. По оценкам НАСА, это самое большое из известных небесных тел, падавших на Землю со времени падения Тунгусского метеорита в 1908 г., и соответствует событию, происходящему в среднем раз в 100 лет.

Состав метеорита:
оливин и ортопироксен – основные вещества, троилит, хезливудит, камасит, тэнит, хромид, диопсид, плагиоклаз и др. – примеси.

Схема падения метеороида

https://ria.ru/studies/20140213/994660187.html



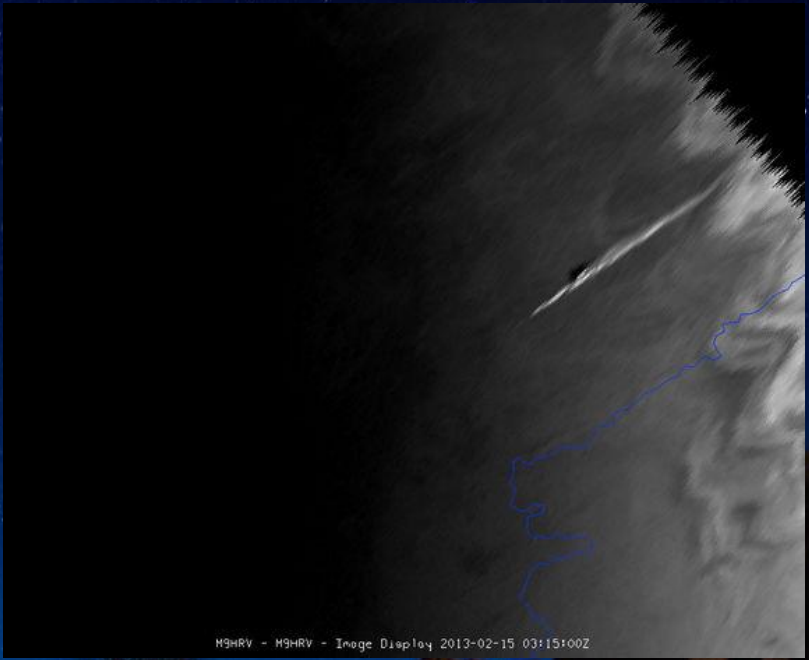
tunguska.ru

http://www.infoniac.ru/news/Uchenye-vyyasnili-otkuda-i-kak-letel-Chelyabinskii-meteorit.html

Снимки Челябинского метеороида из космоса

Геостационар «Метеосат – 10»

Геостационар «Метеосат – 9»



Определение траектории Челябинского болида

Исследователи из университета Антиокуа (Медельин, Колумбия) первыми вычислили траекторию полета челябинского болида, а также установили происхождение метеороида и предполагаемые параметры его изначальной орбиты. Главным материалом послужили записи с камеры, установленной на Площади Революции в Челябинске. Кадры были сопоставлены с записями автомобильных видеорегистраторов, снимавших событие с самых разных ракурсов. Общее число пригодных для анализа видеосвидетельств исчисляется десятками. Особенно ценен тот факт, что все записи сделаны независимо, а максимальная удаленность камер друг от друга составила около семисот километров.

Площадь Революции в Челябинске

http://www.computerra.ru/56873/opredeleno-proishozhdenie-i-vyichislena-ishodnaya-orbita-chelyabinskogo-meteorita/

Для вычисления наиболее вероятных параметров орбиты и оценки степени дисперсии были использованы численные методы Монте-Карло.

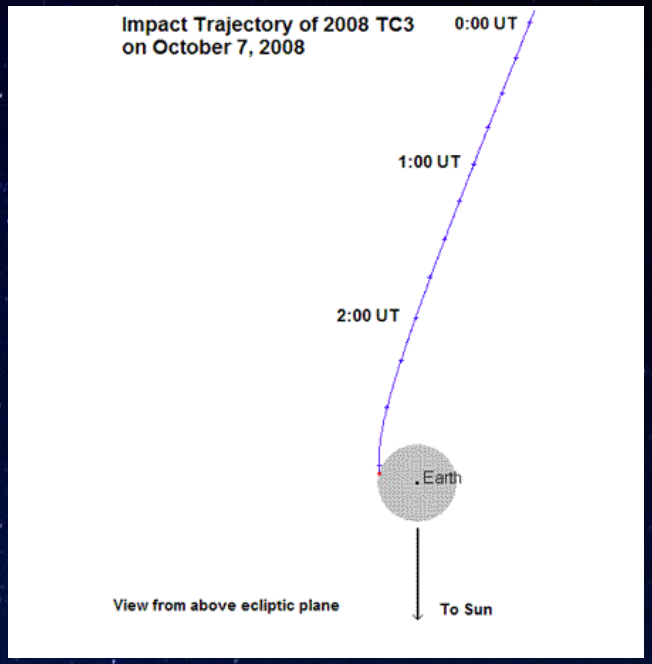
Скорость относительно поверхности Земли составила 19,65 – 13,43 км/с. Высота в момент приобретения максимальной яркости — 46,75 – 32,47 км. Логично предположить, что крупный обломок, пробивший лед на озере Чебаркуль, продолжил траекторию основного метеорного тела до его взрыва. Точное время и координата падения существенно снижает неопределённость. Установлено, что при входе в атмосферу для наблюдателя с Земли болид находился вблизи точки восхода Солнца, а его радиант соответствовал созвездию Пегаса.

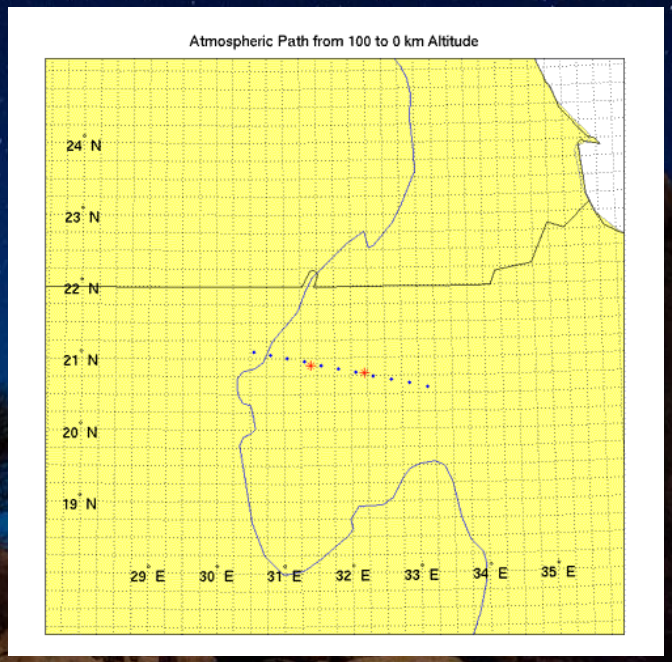
Метеороид 2008 TC_3

2008 TC3 — метеороид, диаметром от двух до пяти метров. Столкнулся с Землей 7 октября 2008 г. в 02:46 UTC. Наземные наблюдатели смогли зафиксировать яркий болид. Метеороид разрушился при падении в атмосфере над территорией Судана, часть обломков достигла поверхности Земли. 2008 TC_3 был открыт за день до падения в обсерватории Маунт-Леммон (к северу от города Тусон, Аризона, США) при помощи полутораметрового телескопа CSS. Падение 2008 TC_3 было первым предсказанным падением небесного тела на Землю.

Одна из станций инфразвукового слежения за атмосферой, расположенная в Кении, в 05:10 UTC зафиксировала сигнал, вероятно, связанный со взрывом в атмосфере. Мощность взрыва оценивается от 1.1 до 2.1 килотонн в тротиловом эквиваленте

При начальной массе 83±25 тонн и скорости 12.4 км/с на высоте 50 км астероид начал разрушаться на высоте 46-42 км при динамическом давлении 0.2-0.3 МПа и позже взорвался на высоте 37 км, когда динамическое давление составило 1 МПа. Только 0.005 % первоначальной массы астероида удалось собрать на поверхности, а остальное испарилось.

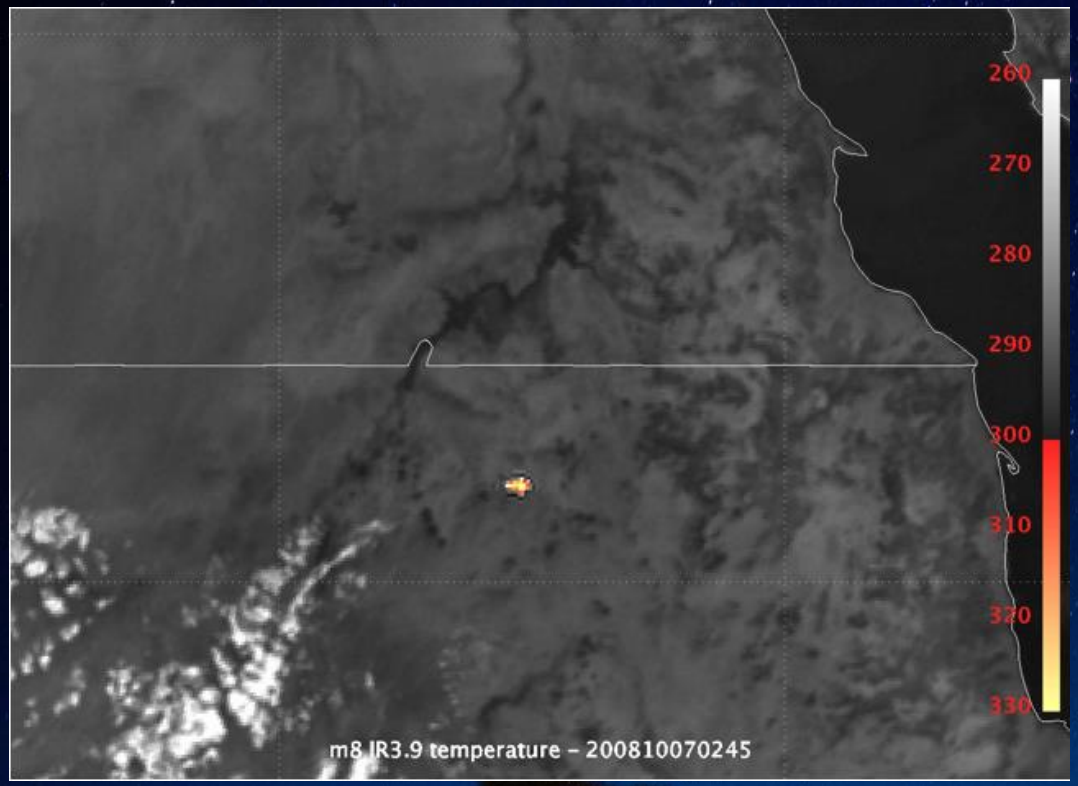




http://neo.jpl.nasa.gov/news/2008tc3.html

Метеороид 2008 TC_3

Геостационар «Метеосат – 8»



Copyright EUMETSAT

Авторы и права: Мохамед Эласан Абделатиф Маир (Noub NGO), Доктор Маувиа Х. Шадад (Университет г. Хартум), Доктор Петер Дженискенс (Институт SETI/НАСА Ames)

Альмахата-Ситта 15

Авторы и права: Петер Дженискенс (Институт SETI/НАСА/Исследовательский центр Эймса)

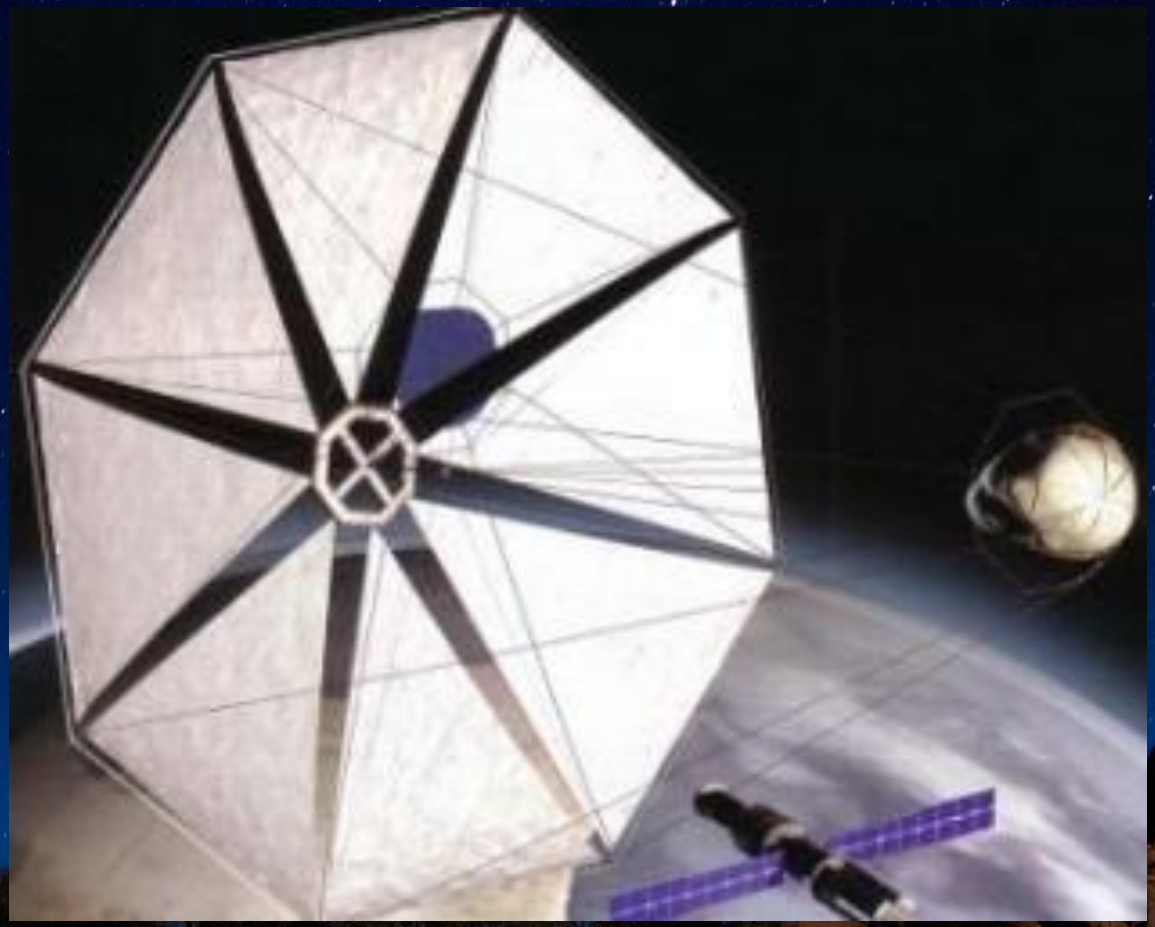
Способы противодействия астероидно-кометной опасности (по времени применения)

- **I этап** (“remote interdiction”) – противодействия на больших расстояниях с временем до столкновения от года до нескольких десятилетий. Включает в себя защиту как от хорошо известных объектов (АСЗ), так и от объектов с плохоопределенными орбитами (ненумерованные АСЗ, коротко-периодические кометы).
- **II этап** (“terminal interception”) – противодействие с временем до столкновения не более года. Обеспечивается защита от «объектов непосредственной угрозы» (недавно открытые малые планеты, долгопериодические кометы).
- **III этап** (“horror scenario”") – противодействие в непосредственной близости от Земли или даже в ее атмосфере. Защита от «объектов неотвратимой угрозы» (неизвестные АСЗ, долгопериодические кометы, метеороиды типа Тунгусского).

Способы воздействия на объект, сближающийся с Землей (ОСЗ) для предотвращения астероидно-кометной опасности

Тип действия	Длительность воздействия	Тип средств	Средства
Отклонение ОСЗ от траектории столкновения	Кратковременное (ударное, импульсное)	Неядерное	Кинетическая энергия КА, ДБТ на ОСЗ
		Ядерное	ВТВ, ПТВ
	Долговременное	Пассивные	Солнечный парус, фокусирующее зеркало, изменение альбедо
		Активные	ДМТ на ОСЗ, СВЧ-излучение, лазеры
Разрушение объекта	Кратковременное (ударное)	Неядерные	Кинетическая энергия КА, поток высокоскоростных частиц
		Ядерные	ВТВ, ПТВ, ГТВ

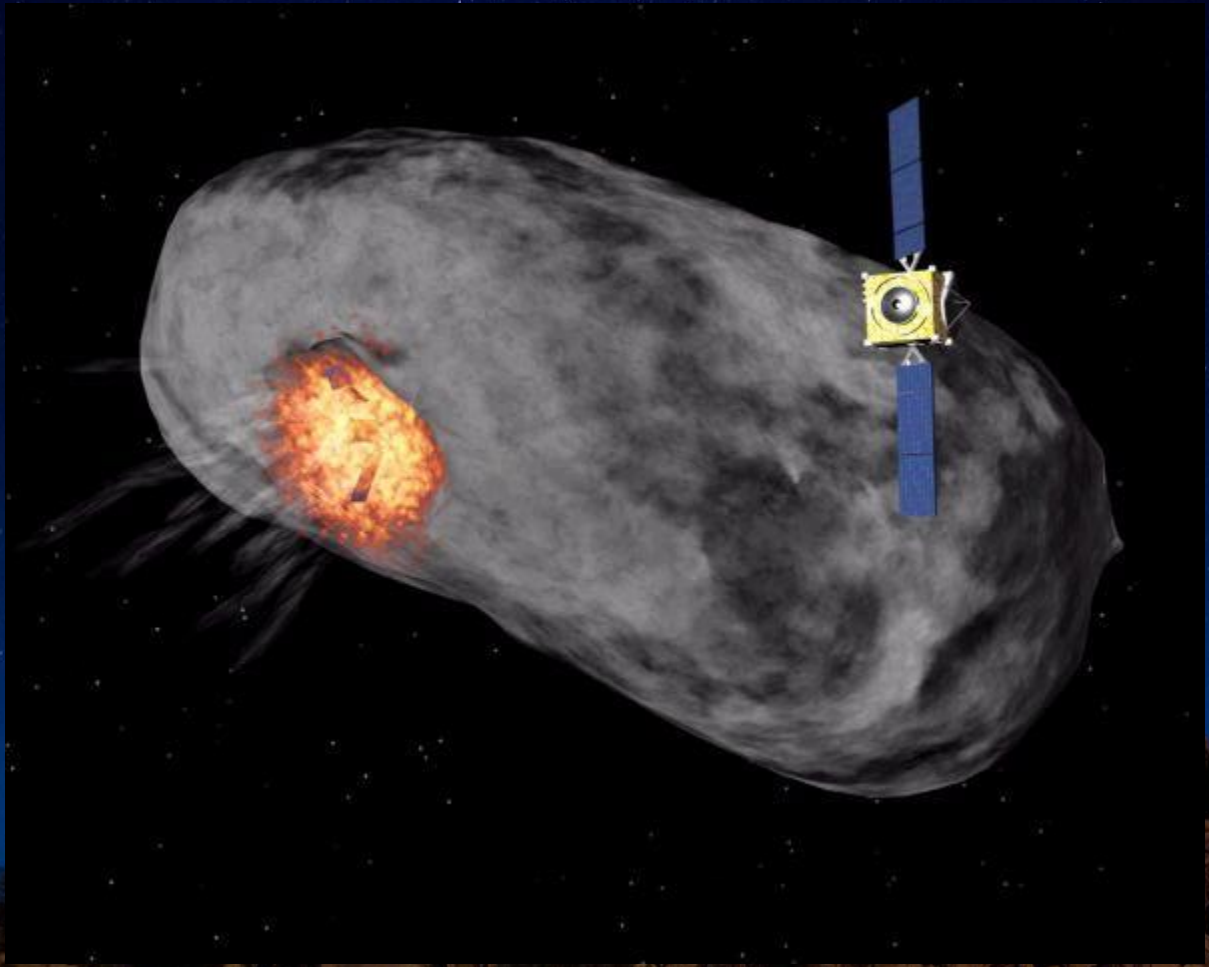
Отклонение АСЗ с помощью солнечного паруса



Отклонение АСЗ с помощью космического аппарата

«Дон Кихот» спасет Землю от Апофиса

(http://www.tesis.lebedev.ru/astronomy_news.html?did=1410)



Фантастическая атака астероида роботами

Спасибо за внимание